

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-260596

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

L

C

C 2 3 C 16/50

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

A

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平10-64975

(22) 出願日

平成10年(1998) 3月16日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 大坪 徹

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(72) 発明者 田中 潤一

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(72) 発明者 佐々木 一郎

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

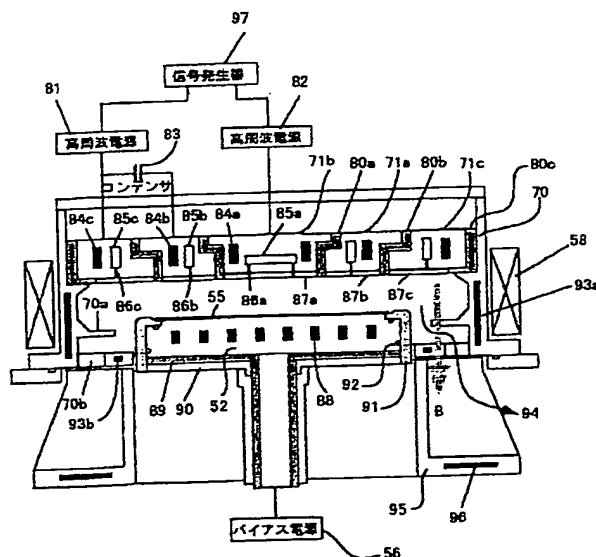
(57) 【要約】

(修正有)

【解決手段】容量結合放電プラズマと、高周波による電磁波放射によるプラズマの複合放電により電子エネルギーを制御し、活性種の発生を制御する。電磁放射電力を導体間の高周波電圧により制御し、電磁波放射電力分布をハード構成とは独立に制御する。高周波印加部分に関しては表面の温度、イオンエネルギーを制御し、その他の処理室内壁面は表面の温度を制御し、発塵、経時変化を防止する。

【効果】プラズマ処理装置において、電子のエネルギー状態が独立に制御できるようになり、これにより活性種の発生を制御し、高選択エッチングと高精度、高速エッチングあるいは膜質と成膜速度など従来技術では両立が難しい特性の両立がはかれるようにした。プラズマの密度分布をハード構成を変えずに制御でき、大口径基板全面で微細なパターンを高精度にエッチングできるようになった。

図 1 6



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生手段が容量結合形放電手段と、電磁波放射手段とからなることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2】請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、前記容量結合放電手段と、誘導方式アンテナとによる電磁波放射手段を直列に接続した構成としたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が複数の導体部品間に高周波電界を発生し、電磁波を放射することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が、高周波電圧を印加する容量結合放電手段の電極を複数に分割し、各電極間に印加する高周波電圧位相、高周波電圧振幅を変える手段を設け、前記各電極間に高周波電界を発生させ、この高周波電界により電磁波を放射することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生手段が容量結合形放電手段と、電磁波放射手段と、磁場形成手段とからなることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】請求項 5 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が誘導方式のアンテナであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】請求項 6 記載のプラズマ処理装置において、前記容量結合放電手段と、誘導方式アンテナ手段を直列に接続した構成としたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 8】請求項 5 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が複数の導体部品間に高周波電界を発生し、電磁波を放射することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 9】請求項 5 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が、高周波電圧を印加する容量結合放電手段の電極と、前記電極とは絶縁された導体部品である構成部材との間に高周波電界が発生する手段を設け、この高周波電界により電磁波を放射することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 10】請求項 5 記載のプラズマ処理装置において、前記電磁波放射手段が、高周波電圧を印加する容量結合放電手段の電極を複数に分割し、各電極間に印加する高周波電圧位相、高周波電圧振幅を変える手段を設け、前記各電極間に高周波電界を発生させ、この高周波電界

により電磁波を放射することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 11】請求項 5 記載のプラズマ処理装置において、前記磁場を形成する手段が電磁波放射手段により放射される電磁波の電界に対しほぼ垂直になるように形成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 12】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生手段が複数の導体部品間に高周波電界を発生し、電磁波を放射してプラズマを発生することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 13】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生手段が複数の導体部品間に高周波電界を発生し、電磁波を放射する手段と、前記電磁波放射手段により放射された電磁波と電子サイクロトロン共鳴を発生させる条件の磁場を発生させる磁場発生手段とからなることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 14】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、プラズマ処理室内で、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ処理室内の内壁面がプラズマから入射するイオンを加速する手段を有する面、あるいは内壁面温度を 200℃以下の設定された温度に保つ手段を有する面のいずれかで構成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 15】プラズマ処理ガス供給手段と、プラズマ処理室内排気手段と、プラズマ発生手段と、プラズマ処理室内で、発生したプラズマに処理基板をさらしプラズマ処理する手段とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ処理室内の内壁面がプラズマから入射するイオンを加速するとともにその表面の温度を制御する手段を有する面、あるいは内壁面温度を 200℃以下の設定された温度に保つ手段を有する面のいずれかで構成することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 16】プラズマ処理室内で容量結合によりプラズマを発生させると共に、前記プラズマ中に高周波電界により発生させた電磁波を放射しながらプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 17】請求項 16 項記載のプラズマ処理方法において、前記高周波電界により発生させた電磁波をプラズマ中に放射する部分を複数箇所設け、前記電磁波放射箇所からの放射電磁波電力を制御することにより、プラズマ処理の均一性を制御し、プラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項18】プラズマ処理室内で容量結合によりプラズマを発生させると共に、前記プラズマ中に高周波電界により発生させた電磁波を放射し、前記電磁波の電界に対しほぼ垂直方向に磁場を発生ながらプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はプラズマ生成手段を備えた処理装置に関し、特に半導体デバイスや液晶表示素子の微細パターン形成、及び大口径基板に均一に処理するのに好適なプラズマエッチング、微細構造薄膜の形成に好適なプラズマCVD、プラズマ重合などのプラズマ処理装置、プラズマ処理方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】プラズマを用いて半導体素子、液晶表示素子を処理するプラズマ処理装置では処理性能を左右する活性種、処理基板に入射イオンのエネルギー、イオンの方向性、プラズマ処理の均一性の制御、及びプラズマ処理の生産性が必要である。

【0003】活性種の制御に関しては、例えば特開昭57-131374号公報に開示されているような平行平板電極方式のものが、この平行平板電極方式のプラズマ処理装置の従来例を図17に示す。

【0004】図17の装置では、円筒状の側壁部6と絶縁部5と円盤状の電極2によって囲まれている処理室9が図示しないガス排気手段により真空状態に保たれており、ガス供給手段7がガス導入路の機能を兼ね備えた電極2を通して処理ガスを処理室9に供給する。通常、側壁部6はアースされており、電極2とは絶縁部5により絶縁されている。電極2と支持台3は平行平板電極を構成しており、電源1がこの平行平板電極の間に電力を加えることにより処理室9内部の処理ガスがプラズマ化する。

【0005】処理室の下部には処理対象のウェハ4が支持台3の上に設置されており、処理室9内に発生したプラズマとプラズマにより活性化した処理ガス中の活性種（ラジカル）により微細加工が行われる。この時、電源1が加える入力電力や処理室9内の圧力や電極2と支持台3の間の間隙の幅等によってプラズマの密度とプラズマ中の電子の温度が変わり、同時に処理ガスの分解、すなわち、微細加工の性能を左右する、いくつかある活性種の量や比の状態が変わる。

【0006】イオンエネルギーの制御に関しては、特開平4-239128号公報に開示されているような方法がある。

【0007】これは、平行平板の電極にこれらとは垂直な発散磁場を設け、これによりプラズマを発生させる高周波電源出力とは独立に、自己バイアス電圧を制御して基板に入射するイオンのエネルギーを磁場により独立に制御できるようにし、ダメージを与えることなく高精度な

エッチング処理をするものである。

【0008】イオンの方向性を高めるとともに処理速度を低下させない方法として、特開平8-195379号公報に開示されているような方法がある。

【0009】これは、容量結合性と誘導結合性が混在したプラズマを発生させることにより、低圧で高密度プラズマを発生するとともに、プラズマの密度分布制御性の優れたプラズマ処理を実現するものである。

【0010】プラズマ処理の均一性を制御するプラズマ処理装置としては、特開昭61-283127号公報に開示されている装置がある。

【0011】この装置では高周波電力を印加する電極を複数に分割し、各電極に印加する電力を独立に制御することで均一性の向上を図るものである。

【0012】生産性を高める上での大きな問題は、エッチング、プラズマCVDなどの処理では処理室内の内壁面に膜が形成され、これらが剥離して塵埃の発生につながり、高集積の半導体デバイスの生産や液晶表示素子の生産した素子の中での良品の割合、すなわち製品歩留まりが低下することである。また、生産を続ける内に、処理特性が変化し、製品歩留まりが低下するという問題もある。

【0013】塵埃の発生は処理室内壁にプラズマ処理で形成されたデポ膜が、プラズマからの入熱変化による温度変動を繰り返し、これによりデポ膜内に応力が発生し膜が厚くなると、この応力が付着力以上になり膜の剥離が始まり、塵埃の発生となる。

【0014】内壁面に形成されたデポ膜を除去するために、これらデポ膜が形成された面に入射するイオンのエネルギーを高めてデポ膜の除去レートを高めるプラズマ処理装置が特開平8-330282号公報に開示されている。

【0015】また、内壁面のデポ膜を揮発性の物質に変換し、真空排気系により排出する方法が示されている。処理室内に非ガス状の材料を配置し、この材料とプラズマが反応して反応性化学種が生成され、これがデポ膜と反応してデポ膜を揮発性の物質に変換しクリーニングする方法が特開平7-153751号公報に開示されている。

【0016】プラズマ処理の処理特性を安定化させる方法として特開平6-188220号公報、特開昭61-8927号公報にプラズマ処理室内の内壁面を一定温度に制御する方法、平行な構造をなす流体で冷却される電極を設けた装置などが開示されている。

##### 【0017】

【発明が解決しようとする課題】半導体素子の高集積化、生産用基板の大口径化に伴い下地材料との選択比、加工形状の高性能化、大口径基板の均一処理、塵埃発生の低減がさらに必要になってきている。

【0018】1) プラズマによるエッチング処理、C V

D処理などの選択比、加工形状、膜質などの処理特性を大きく左右する要因の1つはプラズマ中で電子衝突により生成される活性種である。この活性種の発生量、発生する活性種は、プラズマ中の電子のエネルギー状況により決まる。

【0019】このプラズマ中電子のエネルギー状態は処理圧力による衝突頻度、プラズマ中電子の拡散による消滅割合等で決まる。プラズマ中の電子のエネルギー状態は中性分子、イオン等との衝突により統計的分布になり、圧力のように衝突頻度を変えることで統計的分布を変える以外、その分布を制御することは困難であった。そのため、従来電子エネルギー状態を制御するためには処理圧力を制御する方法が取られていた。しかし処理圧力を制御する方法では、エッチング処理の微細加工性と選択比の両立等が難しくなり、プラズマCVDでは成膜速度、膜質、素子表面のカバー性能の両立が難しくなる。

【0020】本発明の目的の一つは、従来の圧力のようなプロセス条件とは別にプラズマ発生手段、イオンエネルギー制御手段と独立したプラズマ中の電子エネルギー制御手段を提供し、活性種の成分、活性種量を制御して選択比が高く、微細加工ができるプラズマ処理装置を提供することにある。

【0021】2) プラズマ処理の均一性に関しては活性種制御、イオンエネルギー制御、低圧高密度プラズマの発生技術と両立することが必要である。

【0022】また、処理基板の大口径化に伴い、エッチング処理やCVD処理で処理用ガスが基板中心部から外周部に流れることにより、活性種濃度分布、デポ膜の分布が顕在化し、大口径基板全面で均一な処理をすることが困難になってきている。そのため、これらの問題を解決するには、分布の均一化が不可能な要因を別のエッチング特性制御要因により打ち消すことが必要である。そのための一つの制御要因として、プラズマ分布をプラズマ密度や圧力などのその他のプロセス条件とは独立に、プロセス条件毎に、プラズマの凹凸分布を調整できることが必要である。

【0023】本発明の目的の一つは、プラズマの均一性を活性種制御、イオンエネルギー制御、低圧高密度プラズマの発生と両立し、さらに他のプロセス条件とは独立に制御できる均一性制御機構を有するプラズマ処理装置、及びプラズマ処理方法を提供することにある。

【0024】3) 低発塵化のためには処理室内面に付着するデポ膜を除去することが従来技術として検討されているが、デポ膜を気化して排気する方法はデポ膜の気化に時間を要し、生産性を低下させる等の問題がある。また、デポ膜を除去した後の面はプラズマ中のラジカルやイオンにさらされるため変質し、壁面での反応が変化してプラズマ処理特性などにも影響を及ぼす。

【0025】また、プラズマ処理室内壁面には高周波電力が印加される面、接地された面など状態が異なる表面

が混在しており、これらに対応した低発塵化が必要である。

【0026】本発明の目的の一つは、塵埃を発生させずに長期間稼動することができ、かつ生産性を低下さないプラズマ処理装置を提供することにある。

【0027】

【課題を解決するための手段】上記課題を本発明では以下の手段により解決した。

【0028】1) 容量結合放電によるプラズマ発生手段、そのプラズマ中に電磁波を放射する手段、により容量結合放電で発生したプラズマ中の電子に電磁波によりエネルギーを与えるようにし、電子のエネルギー、電子密度を制御し、活性種の成分比、活性種量を調節する手段とする。

【0029】処理室内に平行平板電極の電極と電磁波を投入するためのアンテナ、投入した電磁波がプラズマ中を進行しうる磁場を設け、このアンテナのプラズマ生成領域が平行平板電極のプラズマ生成領域に重なるように設置し、平行平板電極で発生したプラズマ、アンテナから投入された電磁波によるプラズマの二つのタイプのプラズマの混合により電子のエネルギー、電子密度を制御する。電子のエネルギーはアンテナからの電磁波放射により制御できるようになり、容量結合放電とアンテナからの電磁波放射に供給される電力割合を変えることにより、プラズマ中の電子エネルギー状況を変えることができ、活性種量、活性種が制御できる。

【0030】また、上記磁場の磁場強度を放射される電磁波の周波数に対し、電子サイクロトロン共鳴が発生する条件を含めて可変にし、これにより、プラズマ中の電子に与えるエネルギーレベルを磁場強度を変えることにより制御できるようにした。

【0031】2) プラズマの均一性制御に関しては、プラズマ中に電磁波を放射するアンテナを2重以上設け、各アンテナから放射される電磁波を制御する手段によりプラズマの分布を制御するようにした。

【0032】電磁波をプラズマ中に放射することで電子密度が制御できることは活性種発生制御について述べて部分に記載した通りである。

【0033】電磁波を放射するアンテナ手段として、容量結合放電の電極を複数に分割し、各電極間に高周波電圧を発生させることで各電極間で電磁波を放射するようにした。

【0034】分割した電極間に発生する高周波電圧を制御することで、各電極間から放射される電磁波の電力が制御できる。電極間に発生させる高周波電圧の制御手段としては各電極に印加する高周波電圧の位相を制御するようにした。

【0035】3) プラズマ処理室の中で高周波を印加する電極ではイオンが高周波電界により加速されて入射するため、このイオンのエネルギーにより電極表面に付着す

7  
る膜を除去するようにし、デポ膜による発塵を低減した。

【0036】電極表面にはプラズマ処理で発生する活性種と反応して不揮発性の物質を生成しない材料を用いるとともに、冷却された電極への熱伝達を高め、温度変動を低減するために圧力が高められる構造にした。これにより表面に不揮発性の反応性生物が形成されることによる発塵を低減するとともに、温度変動を低減し、表面での反応を安定化させ、プラズマ処理特性の変動を防止した。

【0037】それ以外の部分に関しては処理室内壁面の温度を一定に保つことにより、熱変動による膜内応力の発生を防止し、膜の剥離が発生しないようにした。また、温度を一定に保つことで、表面での反応を安定化させ、プラズマ処理特性の変動を防止した。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施例を図1～図16に示す。

【0039】第1の実施例を図1により説明する。

【0040】図1において、処理室9内には処理対象を20  
支持する支持台3が設置されており、前記支持台3の上  
に処理対象物4が置かれる。処理対象物4は例えば半導  
体素子用のウエハである。処理室の壁の一部は電極2  
となっており、電極の機能も兼ね備えた支持台3との間で  
平行平板電極を形成する。支持台3と処理対象物4は通  
常平板状であるが、電極2は平板状であっても良いし、  
図2(イ)のように階段状の段差を持っても良いし、  
図2(ロ)のように曲面部分を持っても良い。  
電極2が図1、図2(イ)、図2(ロ)のどの場合であ  
っても、以下では電極2と支持台3の組を平行平板電極30  
と呼ぶ。通常、電極2は処理室9に接しているが、電極  
2と処理室9の間には絶縁体などで構成されたカバーが  
あっても良い。処理室9にはガス供給手段7により処理  
ガスが導入されており、例えば図1のように電極2が処  
理ガス導入路の機能を兼ね備えていることがある。

【0041】さらに、処理室9は図示しない排気手段に  
より排気され、低圧状態に保たれている。処理室9は、  
例えば円筒状でアースされた側壁部6で囲まれており、  
電極2と側壁部6は絶縁部5により電氣的に絶縁されて  
いる。電源1は例えば交流電源と整合回路の組み合わせ40  
である。電源1が平行平板電極に加えた電力により、処  
理室9内部の処理ガスがプラズマ化し、プラズマが処理  
ガスを活性化して様々な種類の活性種を生成する。さら  
にアンテナ11が絶縁体5の近傍に設置されており、絶  
縁体5はアンテナ11が発生する電磁波を処理室9に導  
入する窓の機能を持つ。アンテナ11は一つまたは複数  
の電力の入力端と出力端を持ち、ひと巻きまたはそれ以  
上に巻かれたループアンテナであっても良いし、ひと巻  
きを複数に分割した分割ループアンテナであっても良い  
し、その他の形状であっても電磁波を放射するアンテナ50

であればよい。アンテナ11には電源12が電力を供給  
しているが、電源1が電極2とアンテナ11に電力を加  
えても良い。

【0042】また、アンテナ11が電極2に電流を誘導  
する場合には、例えば図3に示すように電極2に誘導電  
流を阻害するようなスリットなどの絶縁領域を設ける  
と、アンテナの電力が処理室内に導入し易くなって良  
い。アンテナ11は例えば図1に示すような電場14を  
処理室内に誘起しプラズマを生成する。このアンテナが  
プラズマを側壁部6の近傍で生成するため、電源12に  
よる電力を調節することにより側壁部6の壁面の状態を  
制御できる。

【0043】また、アンテナ11によるプラズマが励起  
するラジカルは拡散して平行平板電極の間隙にも浸透し  
て行くが、平行平板電極によるプラズマが励起する活性  
種とは組成が異なるため、アンテナに投入する電力の調  
整により処理室内部のラジカル組成の制御が可能であ  
る。

【0044】図1の装置ではさらに磁場発生手段13に  
より処理室内に磁場を加えることができる。例えば、円  
筒状のソレノイドコイルを用いて磁力線15で示すよう  
な分布の磁場を発生できる。アンテナが発生する振動電  
界14と磁力線15がおおむね垂直であるときに、電子  
サイクロトロン共鳴を起こすように電界14の振動数と  
磁場15の強度をあわせると、特に効率的にプラズマが  
生成できる。例えば振動電場の周波数が68Mhzの時には  
磁場強度24 Gauss付近で電子サイクロトロン共鳴が起  
こる。

【0045】また、電子サイクロトロン共鳴磁場に近い  
範囲で磁場強度を調節すればラジカル成分の調整が  
でき、微細加工の性能を最適化することができる。

【0046】さらに、磁場強度が電子サイクロトロン磁  
場よりも強い場所では電磁波が磁場に沿ってプラズマ中  
を伝播できる。従って、図1のようにアンテナを通る磁  
力線が処理室内のプラズマを生成したい場所を通過する  
ようにアンテナと磁場の分布を設定することによりプラ  
ズマ生成の効率化を図っている。

【0047】次に第2の実施例を図4により説明する。

【0048】図4の装置は基本的な構成要素は図1の装  
置とほとんど同じであるが、図1では処理室9の上面に  
設置されていたアンテナ11が処理室の側面に設置され  
ている点が異なる。図4ではアンテナ11の電磁波が外  
部に漏れないように導体壁8'で囲まれているが、導体  
壁8と導体壁8'は一体のものであっても良い。図4の  
装置のもう一つの特徴は、ソレノイドコイルなどの磁場  
発生手段13の設置位置を下方に設定し、処理室側面に  
設置されたアンテナ11を通過する磁力線15が処理室  
内を通過するように配置してある点にある。これによ  
り、図1の実施例でも述べたように、電子サイクロト  
ロン共鳴磁場よりも強い磁場を加えた場合にアンテナが放

9  
射する電磁波が処理室内のプラズマ中に入りやすくなり、プラズマの生成効率を上げている。

【0049】次に第3の実施例を図5により説明する。

【0050】図5の装置は図4の装置とほぼ同じ構成となっているが、アンテナ11が処理室内部に設置されている点が異なる。アンテナを処理室内のプラズマに直接晒すとアンテナ自体が削れて微細加工に悪影響を及ぼすときには、アンテナの表面にプラズマにより削れにくい材料をコーティングしたり、アンテナに絶縁体で出来たカバーをかぶせても良い。図5の実施例のようにアンテナを処理室内部に設置することにより、処理室上面や処理室側面にアンテナを設置するスペースが取れないときにもアンテナを設けることが出来る。

【0051】次に第4の実施例を図6により説明する。

【0052】図6の装置の構成は図5の装置と同じであるが、図6の装置ではアンテナ11が電極2の上部に設置されている点が特徴となっている。図6の装置の場合には電極2は図3に示したようなスリット等の絶縁部を持ち、アンテナ11の誘起する電磁場の少なくとも一部が電極2を通過して処理室9に伝播し、プラズマを生成するかプラズマにエネルギーを与えることが出来るようになっている。この場合には、電極2と支持台3の間隙に平行平板電極とアンテナによりプラズマを生成するため、処理対象物直上のプラズマの電子エネルギーをアンテナ投入電力により調整し、微細加工の性能を高めることが可能になる。

【0053】次に第5の実施例を図7により説明する。

【0054】図7の装置の図1の装置に対する特徴は、図1のアンテナ11と電極2が一体化したアンテナ電極16を用いている点である。

【0055】アンテナ電極の例を図9に示す。アンテナ電極は一つまたは複数の電極部18とそこに接続された一つまたは複数のアンテナ部19と入力端20と出力端21で構成される。アンテナ電極の一例を図9(イ)、図9(ロ)、図9(ハ)、図9(ニ)に示す。特に図9(ハ)では、アンテナ部19の放射する電磁波が電極部18に引き起こす誘導電流を阻害するようにスリット状の絶縁領域を設け、アンテナ部の電磁波の放射効率を上げている。

【0056】図7や図9に示した例では電極部とアンテナ部はほぼ同一平面上にあるが、電極部とアンテナ部が立体的な構成となっても良い。例えばアンテナ部が電極部の真上に設置されるようなアンテナ電極もある。電源1により入力端20に加えられた電力の一部は電極部18と支持台3の形成する平行平板電極によりプラズマ生成に用いられ、残りはアンテナ部19から電磁波として放射され処理室内にプラズマを生成する。出力端はアースしても良いし、アンテナ電極の電極部の電圧を維持するためにコンデンサなどにより構成された電圧維持手段を介した後にアースしても良い。

【0057】また、入力端と出力端を入れ替えて接続しても良い。このアンテナ電極を使うと電極とアンテナに一つずつあった電源が一つで済むようになる。図7ではアンテナ電極の電極部は処理室に露出しており、アンテナ部は処理室外部にあるが、電極部には絶縁体などで構成されたカバーをつけていても良い。

【0058】また、図8に示すようにアンテナ部を処理室内部に設置してもよいし、アンテナ部に絶縁体などのカバーをしてもよい。図7や図8の装置は図1の装置とほぼ同じ効果を持ち、処理対象物の微細加工の性能を上げることができる。

【0059】次に第6の実施例を図10により説明する。

【0060】図10の装置では処理室内の側壁部6近傍にプラズマを生成するために外周電極23と側壁部6の間に電力を加える電源12を設けている。外周電極23の生成するプラズマは、側壁部近傍にあるため、側壁部壁面の状態の制御ができ、微細加工の性能を上げることが出来る。また、電源1と電源12の周波数を異なるものとすれば電子温度の異なるプラズマを生成し、図1の装置と同様にラジカルの成分比の調節により微細加工の性能を最適化できる。さらに、外周電極23の発生する電場14'の方向が磁力線15とほぼ直行するように磁場発生手段13を設置し、磁場強度が外周電極近傍で電子サイクロトロン共鳴磁場強度になるように設定すれば外周電極によるプラズマ生成の効率を上げることが出来る。

【0061】次に第7の実施例を図11により説明する。

【0062】処理室：51の中にはステージ電極：52、対向電極：53が対向して設けられている。処理室：51の本体は接地された金属容器で形成され、上部は石英板：54で形成されており、処理室：51と石英板、各電極の接合部は真空シール構造となっており、処理室：51内を真空中に排気できる構造となっている。また、処理室：51には図示しない処理ガス供給機構があり、処理ガスを供給しながら図示しない排気制御機構により処理室：51内の圧力を目的の圧力に制御できる様になっている。

【0063】ステージ電極：52には処理基板：55が載置できる構造になっており、図示しない温度制御機構によりプラズマ処理中の処理基板：55の温度を制御できるようにしている。また、ステージ電極：52には処理基板に入射するイオンのエネルギーを制御するバイアス電源(2MHz)：56が接続されている。

【0064】対向電極：53は高周波印加リング電極：53a、53b、およびアースリング電極：53cから成っており、高周波印加リング電極：53a、53bには100MHzの高周波電源：57が接続されており、アースリング電極：53cは接地されている。

【0065】処理室：51の外周にはコイル：58が設けられており、処理室内に磁場を形成形成できるようになっている。

【0066】次に本実施例によるエッチング処理での動作例を説明する。

【0067】ステージ電極：52に処理基板：55を搬入し、載置する。図示しないエッチングガス供給源より設定流量のエッチングガス（弗化炭素系ガス）を供給し、処理室内の圧力が1Paになるよう排気を制御する。処理基板には半導体素子の絶縁膜である酸化シリコン膜、シリコン膜が形成されている。この処理基板をステージ電極：52に静電的に吸着させるとともに、図示しないヘリウムガス供給源より基板とステージ電極：52の間にHeガスを供給し、処理基板のエッチング処理中の温度上昇を防止する。

【0068】対向電極である高周波印加リング電極：53a、53bに100MHzの高周波電力を1.5KW投入し、放電によりプラズマを発生させる。高周波印加リング電極：53a、53bと処理室内の真空雰囲気の間は石英板：54で分離されているため、プラズマにたいするエネルギーの供給は容量結合により行われる。この場合、シースとプラズマの界面に形成される電界は小さいため電子のエネルギー分布はマクスウェル・ボルツマン分布に近い。

【0069】高周波印加リング電極：53a、53bとアースリング電極：53cの間には高周波電界Eが形成され、この電界から磁界が形成され、更に電界が形成されるというように電磁波が放射される。容量結合による放電により、プラズマ密度は $10^{10}/\text{cm}^3$ 台のに達するため、放射される電磁波はプラズマ中に進行は出来ないが、石英板：54の近傍では電界が発生するため、この電界により電子は直接加速されエネルギーを受け取ることが出来る。この場合、エネルギーを受け取る電子は石英板近傍の電子だけであり、その割合は少ないが、電子のエネルギーレベルは容量結合により発生したプラズマに比べ高くなる。

【0070】このように本実施例ではプラズマに供給されるエネルギーは、容量結合によるものと、高周波電界による直接加熱の2通りの経路があり、各経路により電子が受け取るエネルギーレベルが異なるため、各経路の電力割合を変えることで電子のエネルギー状況を変えることが出来る。変える方法としては石英板：54の厚さを変える方法、高周波リング電極とアースリング電極の間隔を変える方法がある。石英板の厚さを厚くすると容量結合のインピーダンスが高くなり、放電電圧が高くなり電磁波放射の割合が増え、容量結合で供給される電力割合が下がり電子のエネルギーレベルは高くなる。高周波リング電極とアースリング電極の間隔を狭くすると高周波電界が強くなり電磁放射の割合が増え、同様に電子のエネルギーレベルは高くなる。これらの逆にすれば容量結合だけ

の放電によるエネルギーレベルに近づけることができる。

【0071】バイアス電源：56より2MHzの高周波電力を500W投入すると700Vppの電圧が発生し、プラズマからのイオンを加速して基板に入射させることができ、基板表面ではイオンのアシストにより、プラズマにより分解されたエッチングガス（弗化炭素系ガス）と酸化シリコン膜、シリコン膜が反応しエッチングが進行する。

【0072】電子のエネルギーレベルが高いと、弗化炭素系ガスの分解が進み、弗素系ラジカル量が増え、シリコン膜のエッチング速度が向上する。また、このようなガス分解が進んだ条件ではエッチング断面形状も垂直に近くなり、分解が進まない条件では順テーパ形状になりやすい。半導体デバイスの製造では絶縁膜である酸化シリコン膜のエッチング速度に対するシリコン膜のエッチング速度を出来るだけ小さくし、エッチング断面形状も出来るだけ垂直に近づけることが必要である。そのためには弗化炭素系ガスの分解状況を適切に制御し、両者を両立させる条件を見つけることが必要である。

【0073】本発明では先に述べてように、石英板の厚さ、高周波リング電極とアースリング電極の間隔等を調整することにより、弗化炭素系ガスの分解状況を制御でき、エッチング特性の最適化ができる。

【0074】また、高周波印加リング電極：53a、53b、アースリング電極の寸法を変えることでプラズマの分布を変えることもできる。

【0075】次に、本実施例におけるその他の電子エネルギー制御方法について説明する。

【0076】高周波印加リング電極：53a、53bとアースリング電極：53cの間には高周波電界Eが形成され、電磁波が放射されることは先に説明したが、この実施例では無磁場条件であったため、電磁波はプラズマ中に進行は出来ず、石英板近傍の電子にエネルギーを供給するだけであった。本制御方法ではコイル：58に電流を流し、磁場Bを形成して電磁波がプラズマ中に進行出来るようにした。また、磁場の強度を電磁波の周波数に対し電子サイクロトロン共鳴を起こす条件を含めて設定できるようにし、容量結合放電プラズマへの電磁波の放射と磁場強度の制御により、電子に与えるエネルギーレベルを制御し、適切な電子エネルギー状態に制御できるようにした。

【0077】100MHzの周波数でも、磁場を形成すると電磁波はプラズマ中に進行出来る条件ができるが、このとき磁場は電磁波の電界に対しほぼ直角方向でなければならない。そのため高周波電界による電子の加速は磁場に拘束され、高周波電界から電子が受け取るエネルギーは僅かであり、電子のエネルギー状態を僅かに高めるだけである。そのため活性種の生成など低エネルギーの電子を増やすのに効果的である。

【0078】100MHzでの電子サイクロトロン共鳴を

起こす磁場強度に近い30~40Gに設定すると、電磁波の高周波電界からプラズマ中の電子に効率よくエネルギーが供給され、電子のエネルギーレベルはイオン化レベル以上まで高めることができ、エッチングガスの分解を促進できる。

【0079】このように、磁場強度を変えることにより、ラジカルを生成するのに適したレベルからイオン化レベル以上まで電子のエネルギーを制御でき、磁場強度の調整によりエッチングガスの分解状況を適切にし、エッチング特性の最適化が図れる。

【0080】次に第8の実施例を図12により説明する。

【0081】本実施例は図11に示す対向電極：53を形成する高周波印加リング電極：53a、53b、およびアースリング電極：53cに相当する部分に対するその他の実施例である。

【0082】図12に示すように高周波印加プレート電極：60、アースプレート電極：61から成り、くし状に相対する高周波印加プレート電極：60とアースプレート電極：61の間に高周波電界が生じ、実施例1で説明したと同じ原理により電磁波が放射される。また、高周波印加プレートがプラズマに対し容量結合により電力を供給する点も実施例1と同じである。

【0083】電子エネルギー状態制御にたいする動作、機能も上記点を除いて同じであるため、ここでは省略する。

【0084】次に第9の実施例を図13により説明する。

【0085】処理室：70の中にはステージ電極：52、対向電極：71が対向して設けられており、処理室：70と各電極は絶縁材：72a、絶縁材：72bにより絶縁されるとともに、処理室：70との接合部は真空シール構造となっており、処理室：70内を真空に排気できる構造となっている。対向電極：71には100MHzの高周波電源：57、ロウパスフィルタ：73が接続されている。

【0086】処理室：70はアースに接地されており、その外周にはコイル：58が設けられ、処理室内に磁場を形成するようになっている。また、処理室：70には図示しない処理ガス供給機構があり、処理ガスを供給しながら図示しない排気制御機構により処理室：70内の圧力を目的の圧力に制御できる様になっている。

【0087】ステージ電極：52には処理基板：55が載置できる構造になっており、図示しない温度制御機構によりプラズマ処理中の処理基板：55の温度を制御できるようにになっている。また、ステージ電極：52には処理基板に入射するイオンのエネルギーを制御するバイアス電源（2MHz）：56、ハイパスフィルタ：74が接続されている。

【0088】次に本実施例によるエッチング処理での動

作例を説明する。

【0089】図13において、ステージ電極：52に処理基板：55を搬入し、載置する。図示しないエッチングガス供給源より設定流量のエッチングガス（弗化炭素系ガス）を供給し、処理室内の圧力が1Paになるよう排気を制御する。処理基板には半導体デバイスの絶縁膜である酸化シリコン膜、シリコン膜が形成されている。この処理基板をステージ電極：52に静電的に吸着させるとともに、図示しないヘリウムガス供給源より基板とステージ電極：52の間にHeガスを供給し、処理基板のエッチング処理中の温度上昇を防止する。

【0090】対向電極：71に100MHzの高周波電力を1.5KW投入し、放電によりプラズマを発生させる。対向電極：71とプラズマの間にはシースが形成され、プラズマにたいするエネルギーの供給は容量結合により行われる。この場合、シースとプラズマの界面に形成される電界は小さいため電子のエネルギー分布はマクスウェル・ボルツマン分布に近い。

【0091】対向電極：71と処理室：70の間には高周波電界Eが形成され、電磁波が放射される。

【0092】コイル：58に電流を流し、磁場Bを形成すると共に、磁場の強度を印加高周波の周波数に対し電子サイクロトロン共鳴を起こす条件を挟んで設定出来るようにした。

【0093】100MHzの周波数でも、磁場を形成すると電磁波はプラズマ中に進行出来る条件ができるが、このとき磁場は電磁波の電界に対しほぼ直角方向でなければならぬ。そのため高周波電界による電子の加速は磁場に拘束され、高周波電界から電子が受け取るエネルギーは僅かであり、電子のエネルギー状態を僅かに高めるだけである。そのためラジカル生成など低エネルギーの電子を増やすのに効果的である。

【0094】100MHzでの電子サイクロトロン共鳴を起こす磁場強度に近い30~40Gに設定すると、電磁波の高周波電界からプラズマ中の電子に効率よくエネルギーが供給され、電子のエネルギーレベルはイオン化レベル以上まで高めることができる。このように、磁場強度を変えることにより、ラジカルを生成するのに適したレベルからイオン化レベル以上まで電子のエネルギーを制御できる。

【0095】バイアス電源：56より2MHzの高周波電力を500W投入すると700Vppの電圧が発生し、プラズマからのイオンはこの電圧で加速され基板に入射し、基板表面ではイオンのアシストにより、プラズマにより分解されたエッチングガス（弗化炭素系ガス）と酸化シリコン膜、シリコン膜が反応しエッチングが進行する。

【0096】電子のエネルギーレベルが高いと、弗化炭素系ガスの分解が進み、弗素系活性種量が増え、シリコン膜のエッチング速度が向上する。また、このようなガス



分解が進んだ条件ではエッチング断面形状も垂直に近くなり、分解が進まない条件では順テーパ形状になりやすい。半導体デバイスの製造では絶縁膜である酸化シリコン膜のエッチング速度に対するシリコン膜のエッチング速度を出来るだけ小さくし、エッチング断面形状も出来るだけ垂直に近づけることが必要である。そのためには弗化炭素系ガスの分解状況を適切に制御し、両者を両立させる条件を見つけることが必要である。

【0097】本発明では磁場強度を変えることで、この弗化炭素系ガスの分解状況を制御でき、酸化シリコン膜とシリコン膜のエッチング速度比、エッチング形状などのエッチング特性の最適化が圧力やエッチングガス流量、高周波電力とは独立に制御できる。

【0098】次に第10の実施例を図14により説明する。

【0099】本実施例の基本構成は図13に示す実施例と同じであり、ここでは相違点のみを説明する。

【0100】処理室：70はアースに接地されておらず、800KHzのバイアス電源：75、100MHzのハイパスフィルタ：76が接続されている。

【0101】ステージ電極：77には図示しない基板加熱機構が組み込まれており、処理基板を室温から500度摂氏の間で設定値に加熱できるようになっている。

【0102】次に本実施例によるプラズマCVD処理での動作例を説明する。

【0103】ステージ電極：77に処理基板：55を搬入し、載置する。図示しないCVDガス供給源より設定流量のCVDガス（弗化シリコンガス+酸素ガス）を供給し、処理室内の圧力が4Paになるよう排気を制御する。処理基板をステージ電極：77に載せ、処理基板の温度を300度摂氏に加熱する。対向電極：71に100MHzの高周波電力、1.5KW投入しステージ電極：77との間に容量結合放電を発生させ、CVDガスをプラズマ状態にする。

【0104】対向電極：71には高周波電源：57からの電力供給により100MHzの高電圧（1400Vp）が発生し、処理室：70との間に高周波電界が発生する。処理室：70は接地されてはいないが、ハイパスフィルタ：76により100MHzの高周波に対しては接地されたのと同じ状態であり、図13に示す実施例と同様に高周波の電磁波を放射する。

【0105】弗化シリコンガスは結合が強く分解が進まず、フッ素が、形成される酸化シリコン膜中に多く吸蔵される。100MHzの電磁波と磁場の作用により先の図13に示した実施例と同様に、電子のエネルギーレベルを制御し、弗化シリコンガスの分解を促進して解離したフッ素ガスを排気するため、酸化シリコン膜中への吸蔵が低減され膜質の向上を図ることができる。また、弗化シリコンガスの分解が促進されるため、解離したシリコンと酸素ガスの反応も促進され、成膜レートの向上も図れ

る。

【0106】また本実施例ではハイパスフィルタ：74とハイパスフィルタ：76の周波数特性を印加する周波数の倍周波である200MHzに設定することで、プラズマシースの持っている非線形特性から印加周波数が100MHzと200MHzの混合した周波数になり、磁場強度が70G前後でも共鳴条件を作ることができる。この倍周波の混合割合は整合器のリアクタンスとキャパシタンスの割合を変えることでも実現できる。

【0107】プラズマCVDでは処理室内壁にも酸化シリコン膜が形成され、これらが剥がれてパーティクルとなり、半導体製品を製造する上での課題となっている。本実施例では処理室：70の内壁面にバイアス電源：75から800KHzの高周波電圧を印加でき、これにより入射イオンエネルギーを高める効果と、弗化シリコンガスの分解により発生したフッ素により、処理室：70の内壁面に形成される酸化シリコン膜はエッチングされ除去されるため、成膜中に処理室内壁面に膜が付かず、パーティクルの発生を低減できる。

【0108】次に第11の実施例を図15により説明する。

【0109】本実施例の基本構成は図13に示す実施例と同じであり、ここでは相違点のみを説明する。

【0110】対向電極：71は対向電極：71a、対向電極：71bから成り、それぞれの電極は絶縁材：80aにより相互に絶縁されており、また、絶縁材：80bにより処理室：70とも絶縁されている。それぞれの電極には高周波電源：81、高周波電源：82が接続されており、高周波電源：81と高周波電源：82は位相がずれた同じ周波数（本実施例では100MHz）を発生し、それぞれの電極に印加するようになっている。

【0111】位相が異なる高周波を対向電極：71aと対向電極：71bに印加すると対向電極：71aと対向電極：71bの間には高周波電界が生じる。位相を180度ずらした場合、最も効率よく高周波電界を発生でき、位相のずれを0度にすると高周波電界は最も弱くなる。この位相制御と高周波電源：81、82の電力を制御することで、対向電極：71a、71bの間から発生する高周波の電磁波電力と対向電極：71bと処理室：70の間から発生する高周波の電磁波電力の割合を制御することができ、エッチング処理、プラズマCVD処理の均一性を制御することができる。また、高周波電源：81、82の電力を制御することで、容量結合による供給電力割合を制御し、均一性を制御することもできる。

【0112】更に、本実施例では2台の高周波電源を用いているが、1台の電源から対向電極：71a、71bに供給する電力ラインの間にキャパシタンス、あるいはリアクタンスを入れ、位相をずらすことをしても同様の効果を得ることができる。

【0113】次に第12の実施例を図16により説明す

る。

【0114】処理室：70の中にはステージ電極：52、対向電極：71が対向して設けられており、処理室：70は図示しない排気機構により真空中に排気できるとともに、図示しないエッチングガス供給機構より設定流量のエッチングガスを供給し、設定圧力に保てる様になっている。

【0115】対向電極：71は対向電極：71a、71b、71cよりなっており、各電極は石英製の絶縁材：80a、80bにより相互に絶縁されている。また、絶縁材：80cにより処理室：70とも絶縁されている。対向電極：71bには高周波電源：82、対向電極：71cには高周波電源：81、対向電極：71aにはコンデンサ：83を介して高周波電源：81が接続されている。高周波電源：81と高周波電源：82は信号発生器：97からの信号を増幅する構成になっており、信号発生器：97は各電源に供給する高周波信号の位相、振幅を制御できるようになっている。信号周波数は、本実施例では100MHzを用いている。

【0116】対応電極：71a、71b、71cは図示しないロウパスフィルタを介して接地されており、バイアス電源：56の10MHzの周波数を通し、バイアス電源：56の高周波電流が対向電極を通して流れるようにしてある。

【0117】対向電極：71には冷媒の流路：84a、84b、84cが設けられ、図示しないサーキュレータに接続され、温度制御した15℃の冷媒が循環している。

【0118】対向電極：71にはエッチングガス供給路：85a、85b、85cが設けられ、図示しないエッチングガス供給源よりエッチングガスが供給され、ガス供給口：86a、86b、86cから噴出する構成となっている。

【0119】対向電極：71にはカバープレート：87a、87b、87cが固定されている。カバープレート：87aはシリコン単結晶板で作られており、ガス供給口：86aaがガス供給口：86aと対応する位置に設けられ、その寸法はガス供給口：86aの1/4から1/10になっている。カバープレート：87bはシリコン単結晶板で作られており、ガス供給口：86bbが、ガス供給口：86aと対応する位置に設けられ、その寸法はガス供給口：86aの1/4から1/10になっている。カバープレート：87cはSiCで作られている。

【0120】処理室：70には流路：93a、93bが設けられており、図示しないサーキュレータより、温度制御した50℃の冷媒が循環する構成になっており、処理室の内壁面の温度を±5℃に制御できるようになっている。

【0121】また処理室：70には閉じ込め板：70

a、70bが一体で形成されており、コイル：58で形成される磁場：Bに対し排気の経路：94が直角になるよう構成されている。この部分ではプラズマはこの磁場を横切り拡散するため、プラズマが広がらず、閉じ込められる構成となっている。

【0122】ステージ電極：52にはバイアス電源：56より10MHzの高周波電力が供給される構成になっており、絶縁材：89、アースシールド：90により異常放電を起こさない構成となっている。

【0123】ステージ電極：52には流路：88が設けられてあり、-10℃の冷媒が図示しないサーキュレータより循環している。ステージ電極：52の処理基板：55を載置する面には図示しない静電吸着機構が設けてあり、また図示しないヘリウムガス供給源から圧力を3KPaに制御したヘリウムガスを処理基板と静電吸着機構の間に供給し、エッチング処理中の処理基板：55の温度を50℃～100℃に制御している。

【0124】ステージ電極：52の周囲には石英製のカバー：91が設けてあり、その厚さは10MHzの高周波により石英製カバー表面に発生するイオンを加速する電界強度が、石英表面に付着するデポ膜を除去し、石英製のカバー：91をほとんどエッチングしないレベルに調整されている。また、カバー：91とステージ電極：52の間にはシール機構：92が設けてあり、処理基板：55と静電吸着機構の間に供給するヘリウムガスが、供給される構成となっている。これによりカバー：91はステージ電極：52より冷却される構成となり、エッチング処理中の温度を-10℃から+10℃の範囲で制御できる。

【0125】排気の下流にはデポプレート：95があり、内部に形成された流路：96には25℃の冷媒が循環している。デポプレート：95には排気抵抗を増やさない方向にフィンが設けてあり、排気ガスに接する表面積を広く取れるようにしてある。

【0126】次に本実施例によるエッチング処理での動作例を説明する。

【0127】本実施例では酸化膜をエッチングする場合について説明する。

【0128】図示しないエッチングガス供給源よりアルゴン、とC4F8ガスを混合して供給し、排気しながら処理室：70内を2Paに制御する。エッチングガスはガス供給口：86a、86aa、86b、86bbより供給される。この時、カバープレート：87a、87b、87cと対向電極：71b、71a、71cの間は3KPaのエッチングガスが満たされ、これによりカバープレート：87a、87b、87cは温度制御された対向電極：71で冷却され、15℃～50℃の温度に制御される。

【0129】信号発生器：97より100MHzの高周波信号を発生し、対向電極：71に高周波電源：81、

82より高周波電力を供給し、ステージ電極：52との間に容量結合による放電を発生させる。

【0130】対向電極：71aと対向電極：71cの間ではコンデンサ：83により位相が90度ずれて高周波電圧が印加される。対向電極：71bと対向電極71aの間の高周波電圧は、信号発生器：97による高周波信号の位相制御により、0度から180度まで任意のずれに設定できる。したがって、絶縁材：80bの間に発生する高周波電圧に対し、絶縁材：80aの間に発生する高周波電圧は、信号発生器：97の位相制御により高くすることも低くすることもできる。これにより絶縁材：80aの間から放射される電磁波の電力を絶縁材：80bの間から放射される電力に対し、高くすることも、低くすることもできる。

【0131】コイル：58に図示しない直流電源より電力を供給し、30から40Gの磁場を発生させると放射された100MHzの電磁波との電子サイクロトロン共鳴によりプラズマ中の電子が加速され、電子温度が上昇するとともにプラズマ密度も高くなり、 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 以上のプラズマ密度を発生できる。また、対向電極：71に印加する高周波電圧の位相制御により放射電磁波を制御してプラズマ密度の分布を制御できる。また、高周波電源：81と82の出力を制御することで容量結合放電によるプラズマ分布を制御でき、放射電磁波の割合と合わせて制御することで電子温度分布を制御することもできる。

【0132】本実施例では、容量結合放電電力は外周部へ供給する割合を高め、電磁波の放射による放電は中心部への供給電力割合を高めた。これにより中心部の電子温度は高く、外周部は低くなり、エッチングガスの分解が進む外周部でのフッ素ラジカルの発生を抑制し、均一な処理ができるようにした。

【0133】また、大口径基板を処理する場合、エッチングガスの流れの影響により、中心部の基板表面に付着するデポ膜の厚さは外周部より多く、エッチング形状も中心部ではエッチングパターンの側面のテーパ角度が大きくなり、中心部と外周部でエッチング形状に差が生じ、大口径基板全面で微細なエッチング形状を高精度に形成するのが難しくなる。このような場合、本発明では中心部の電磁放射を高めることでプラズマ密度分布を僅かに凸分布に制御し、中心部のイオン電流を増加させることで、エッチング形状のテーパ角度を制御でき、大口径基板全面で高精度なエッチング処理を実現できる。さらにこのような処理は、プロセス条件の設定と同様に信号発生器：97の信号の位相をエッチング装置のレシピにより設定できるため、コンタクトホールエッチングやスルーホールエッチングなどエッチング条件が異なるプロセスに対しても、個々に適切に設定でき、ハード構成などを調整する必要がない。

【0134】エッチング性能に関しては、2Paの低圧

力でも高密度プラズマを発生できるため、垂直なコンタクトホールを900nm/minのエッチング速度でエッチングでき、微細加工性と生産性を両立できる。選択性に関しても電子温度の制御によりエッチングガスの分解を制御でき、微細加工性と選択性の両立するプロセス条件を拡大できる。

【0135】エッチング処理中、対向電極：71のカバープレート：87a、87b、87cの表面は温度制御され、さらに印加された100MHzの高周波電圧により、プラズマ中のイオンが加速されて入射するため、その表面にはデポ膜は形成されず、カバープレート：87a、87bの表面ではシリコン板の表面が、カバープレート：87cの表面ではSiCが僅かにエッチングされ、常に新しい面が露出した状態であるため、この表面での反応、ガス放出は一定の状態に保たれる。

【0136】ステージ電極：52のカバー：91の表面も同様にバイアス電力の印加による入射イオンの加速と温度制御により、石英の表面が僅かにエッチングされ、表面での反応、ガス放出が一定に保たれる。

【0137】処理室：70の内壁面は接地されているため、入射するイオンはほとんど加速されず、その内壁面にはC、Fの重合膜が形成される。その表面は常に新しい膜が形成されるため常に一定の状態に保つことができ、また、その表面温度を50℃に保っているためデポ膜からのガス放出はなく、表面状態、ガス放出を一定に保つことができる。

【0138】これらにより、エッチング処理を重ねることによるエッチング特性の変化は防止できるとともに、対向電極：71、ステージ電極：52にはデポ膜が形成されず、表面の変質もないため、塵埃の発生はほとんどない。デポ膜が付着する処理室：70の表面は先に述べたように温度が一定に保たれているため、付着膜と、処理室内壁面の間に膨張等による力が発生せず、膜の剥離は発生しない。これと、対向電極、ステージ電極の対策により本実施例では塵埃の発生を大幅に低減できた。

【0139】以上の実施例ではエッチングとCVDを中心に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、プラズマ重合、スパッタ、のようにプラズマを用いたプロセスであれば同様に適用できることは明らかである。

【0140】プラズマ発生用高周波電源の周波数に関しては、本実施例では周波数が6.8MHzおよび100MHzの場合について説明してきたが、これは電磁波の放射効果が高い条件について実施例で説明したもので、これより低い周波数では高周波電圧を高くすれば同様な効果が得られる。原理的には周波数に限定されるものではないが、現時点で実験による効果が確認されている周波数は10MHz以上である。これより高い周波数も原理的には使用可能であるが、現時点で電源が作りにくい、導波管が必要、容量結合放電での放電電圧が低くなり電磁放

射電力が高くできないなど実用的な面で問題があるため本実施例では説明しなかった。

【0141】磁場強度に関しても本実施例では電子サイクロトロン共鳴条件近傍を中心に説明したが、実験の結果では電子サイクロトロン共鳴条件の1/3程度の磁場条件でもプラズマ密度が向上する効果が見られる。磁場強度に対するプラズマ密度の変化は電子サイクロトロン条件までは磁場とともにプラズマ密度が増加し、さらに磁場強度を強くするとプラズマ密度が低下し、プロセス条件により差はあるが、電子サイクロトロン共鳴条件の2倍から3倍の磁場強度で磁場を印加しない条件のプラズマ密度レベルに低下する。したがって磁場強度は電子サイクロトロン共鳴条件に限定されるものではないが、効果が大きいのは電子サイクロトロン共鳴条件近傍である。この現象は磁場強度を変えることにより放射電磁波からプラズマへのエネルギー供給を磁場により制御できることを意味しており、電子エネルギー制御が磁場により行えることを示している。

【0142】プラズマ発生方式に関し、本実施例では容量結合放電と電磁放射の複合放電を中心に説明した。これは電子のエネルギー状態を制御することが目的であるためこれを中心に説明したものである。しかし、絶縁された導体部材間に高周波電圧が印加される構成にして電磁波を放射する方法はこれ自体でもプラズマが発生できることは明らかであり、一つのプラズマ発生技術になりうる。しかしこの方式ではプラズマとの容量結合成分により高周波電圧が低下するのを防止するため、電極とプラズマの間に形成される容量をできるだけ小さくする配慮が必要である。

【0143】処理室：70の温度制御に関しても、本実施例では50℃に設定したがこれに限定されるものではない。内壁面の温度が200℃を超えると表面にデガ膜が形成されなくなり、常に新しいデガ面を形成できなくなり、また、付着膜の分解も温度が200℃以上で急激に増加するため、これ以下の温度に設定する必要がある。実用的には装置が使用される環境の温度を挟んだ10℃から80℃が使いやすい温度である。

#### 【0144】

【発明の効果】本発明により、プラズマ処理装置において、電子のエネルギー状態が独立に制御できるようになり、これにより活性種の発生を制御し、高選択エッチングと高精度、高速エッチングあるいは膜質と成膜速度など従来技術では両立が難しい特性の両立がはかれるようにした。

【0145】プラズマの密度分布をハード構成を変えずに制御でき、大口径基板全面で微細なパターンを高精度にエッチングできるようになった。

【0146】プラズマ処理に伴う塵埃の発生、プラズマ処理特性の変化を防止でき、半導体素子、液晶表示素子の生産性を高めることができるようになった。

【0147】これらにより、半導体素子や液晶表示素子などの処理の高性能化がはかれ、より高性能なデバイスの生産が可能になるとともに、これらのデバイスを歩留まり良く、高い生産性で生産できる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第1の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図2】第1の実施例に示した電極構造のその他の例を示す説明図である。

【図3】第1の実施例に示した電極構造のその他の例を示す説明図である。

【図4】本発明による第2の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図5】本発明による第3の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図6】本発明による第4の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図7】本発明による第5の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図8】第5の実施例に示した電極構造のその他の例を示す説明図である。

【図9】第5の実施例に示したアンテナ電極構造のその他の例を示す説明図である。

【図10】本発明による第6の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図11】本発明による第7の実施例の電極構成を示す説明図である。

【図12】本発明による第8の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図13】本発明による第9の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図14】本発明による第10の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図15】本発明による第11の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図16】本発明による第12の実施例のプラズマ処理室構成を示す説明図である。

【図17】従来技術のプラズマ処理装置の構成を示す説明図である。

#### 【符号の説明】

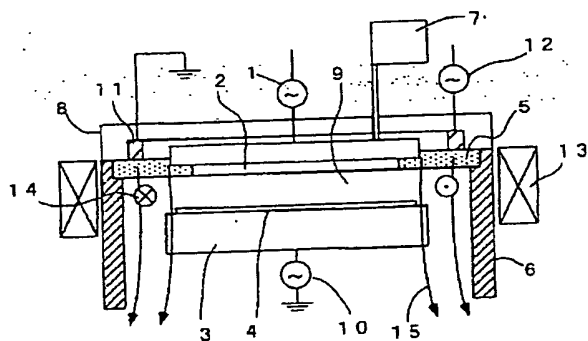
1…電源、2…電極、2'…電極、2''…電極、2'''…電極、3…支持台、4…処理対象物、5…絶縁部、6…側壁部、7…ガス供給手段、8…導体壁、8'…導体壁、9…処理室、10…電源、11…アンテナ、12…電源、13…磁場発生手段、14…アンテナが生成する電場、14'…外周電極が生成する電場、15…磁力線、16…アンテナ電極、17…絶縁体カバー、18…電極部、19…アンテナ部、20…電力入力端、21…電力出力端、22…絶縁部、23…外周電極、51…処理室、52…ステージ電極、53…対向電

23  
極、55…処理基板、56…バイアス電源、57…高周波電源、58…コイル、70…処理室、71…対向電 \*

\* 極、81…高周波電源、82…高周波電源、87…カバープレート、91…カバー。

【図1】

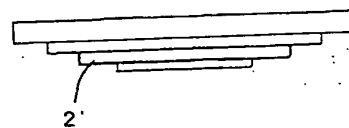
図1



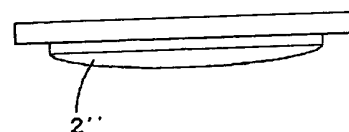
【図2】

図2

(イ)

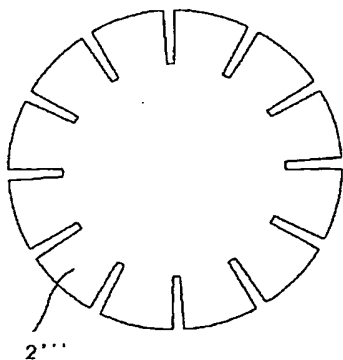


(ロ)



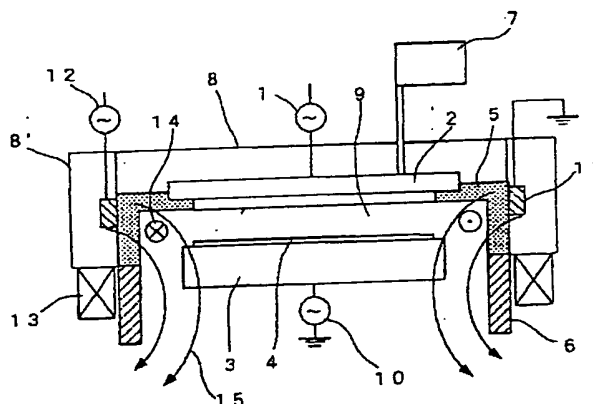
【図3】

図3



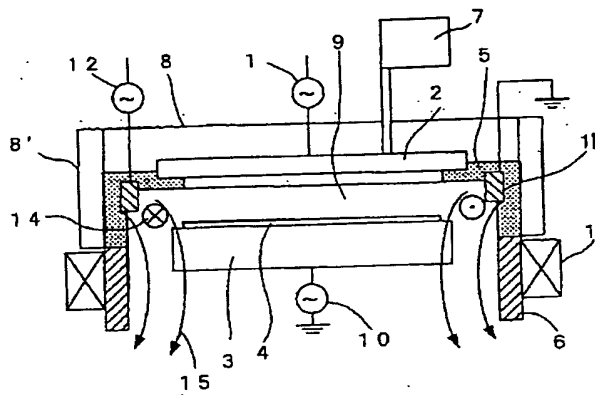
【図4】

図4



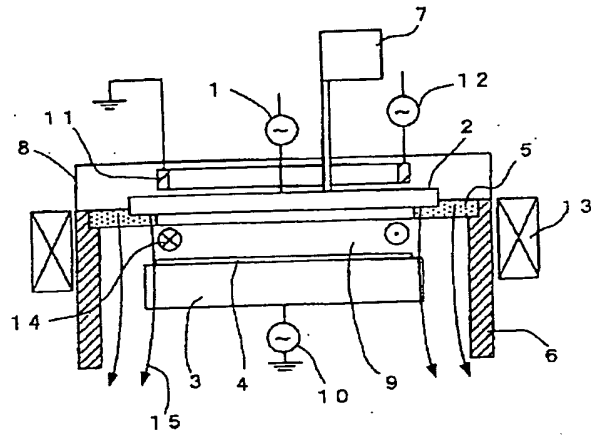
【図5】

図5



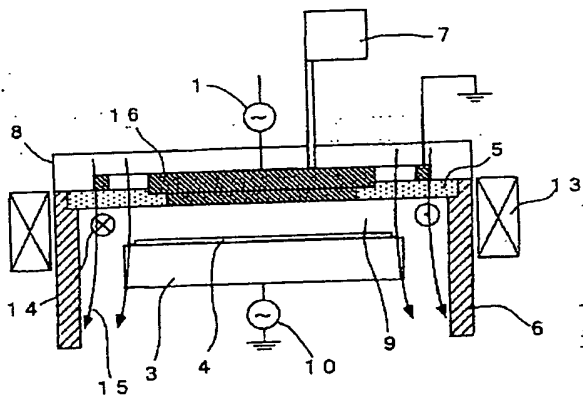
【図6】

図6



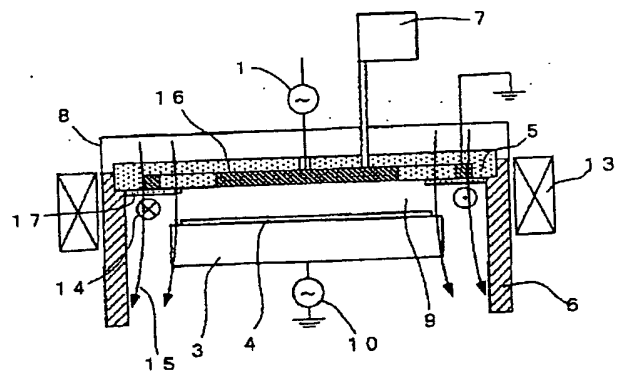
【図7】

図7



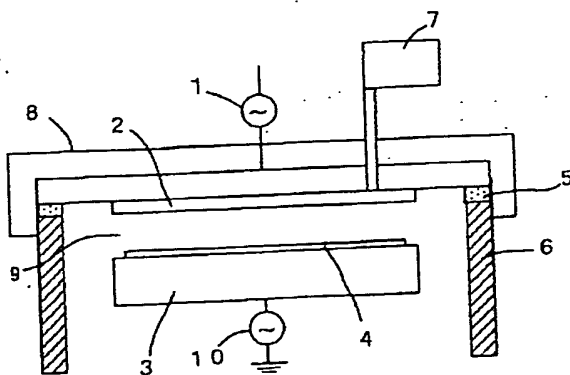
【図8】

図8



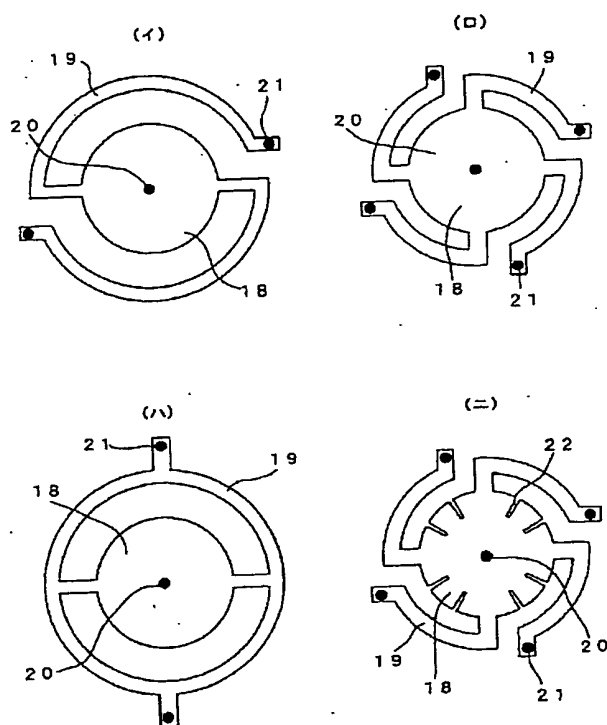
【図17】

図17



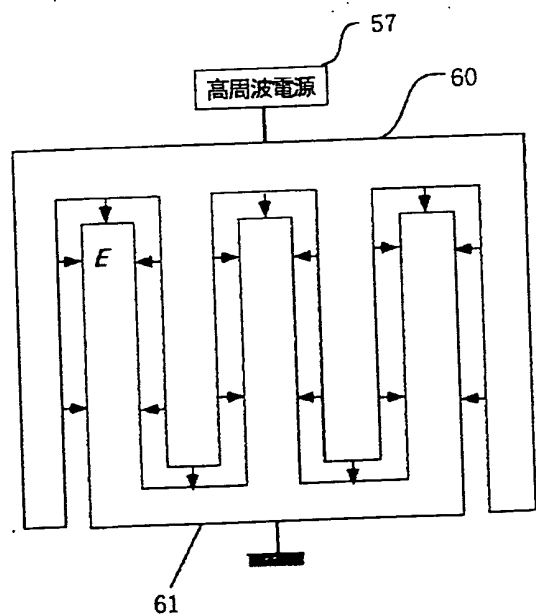
【図9】

図9



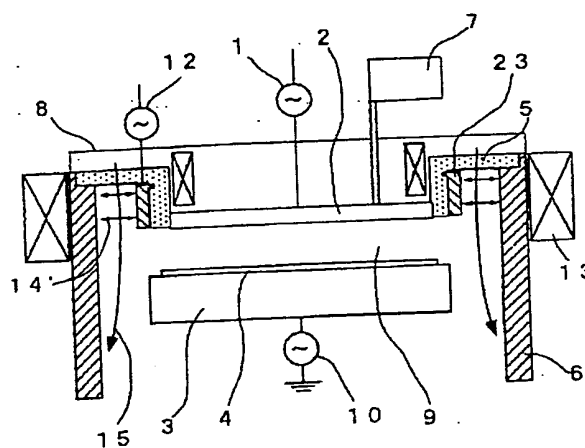
【図12】

図12



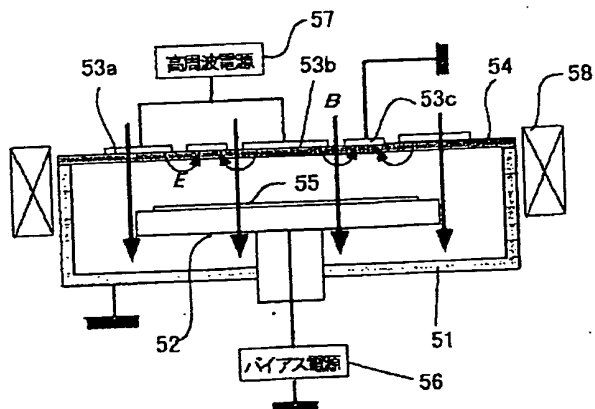
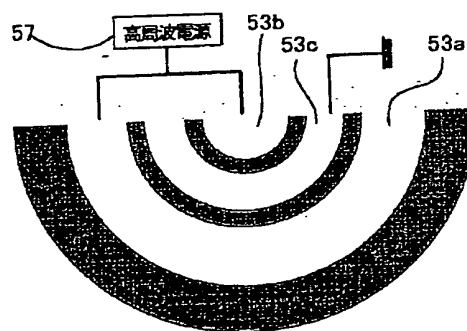
【図10】

図10



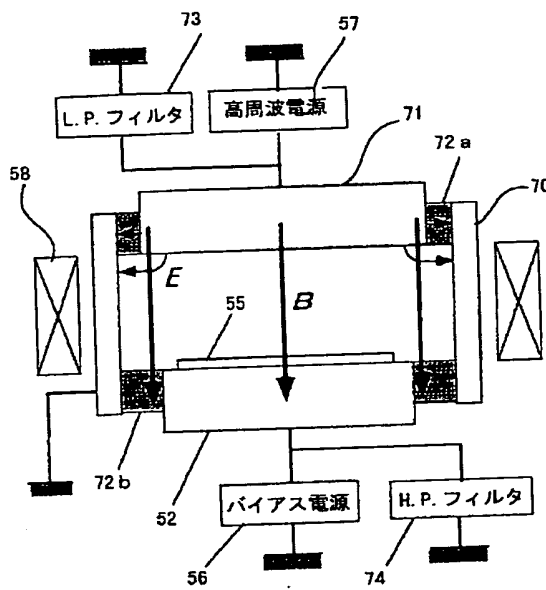
【図11】

図11



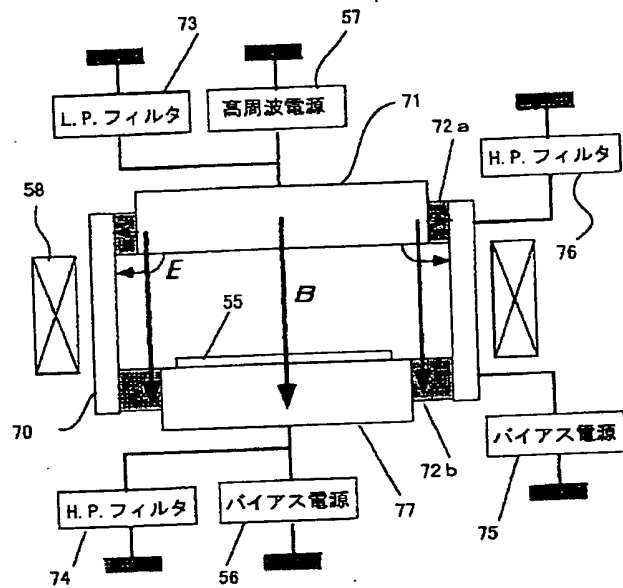
【図13】

図13



【図14】

図14

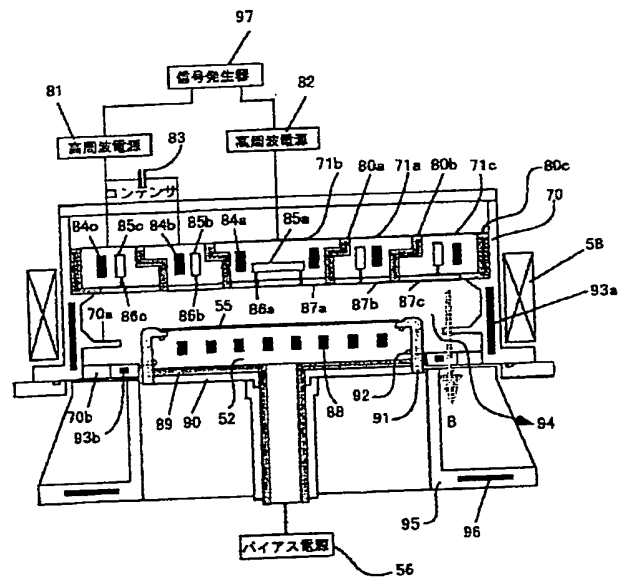
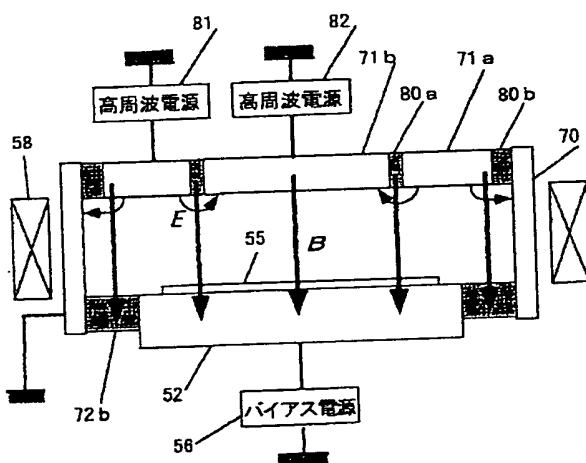


【図16】

図16

【図15】

図15





## フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>                      識別記号  
H O 1 L    21/3065  
            21/31

(72) 発明者    増田   俊夫  
                茨城県土浦市神立町502番地    株式会社日  
                立製作所機械研究所内

F I  
H O 1 L    21/31                      C  
            21/302                      B

(72) 発明者    加治   哲徳  
                山口県下松市大字東豊井794番地    株式会  
                社日立製作所笠戸工場内

(72) 発明者    渡辺   克哉  
                山口県下松市大字東豊井794番地    株式会  
                社日立製作所笠戸工場内